

Computer-aided determination of deformation and movement from images using projected patterns

Patent Number: DE3600672
Publication date: 1987-07-16
Inventor(s): BREUCKMANN BERND DR (DE); THIEME WERNER DR
Applicant(s): BREUCKMANN BERND DR;; THIEME WERNER DR
Requested Patent: ☐ DE3600672
Application: DE19863600672 19860113
Priority Number(s): DE19863600672 19860113
IPC Classification: G01B11/16; G06F15/70; G01B9/02; G02B27/60
EC Classification: G01B11/16F
Equivalents:

Abstract

For measurement purposes, a method is presented for determining deformation and movement from images using projected patterns. The method is based on the combination of the following features: a) producing a displacement of the projected pattern relative to the measurement object, b) recording and storing images of the measurement object for different positions of the pattern and for different deformation states or location states of the object, c) punctiform calculation of deformation and movement components by means of the stored images.

Data supplied from the esp@cenet database - I2



DEUTSCHES

PATENTAMT

Offenlegungsschrift

DE 3600672 A1

(21) Aktenzeichen: P 36 00 672.6
 (22) Anmeldetag: 13. 1. 86
 (43) Offenlegungstag: 16. 7. 87

(51) Int. Cl. 4:
G01B 11/16
 G 06 F 15/70
 // G01B 9/02,
 G02B 27/60

12

I D S

DE 3600672 A1

(71) Anmelder:

Breuckmann, Bernd, Dr., 8014 Neubiberg, DE;
 Thieme, Werner, Dr., 8047 Karlsfeld, DE

(72) Erfinder:

gleich Anmelder

(56) Recherchenergebnisse nach § 43 Abs. 1 PatG:

DE-OS 28 31 834
 US 44 74 466
 GB-Z: Brit. J. Appl. Phys. (J.Phys.D.) Vol.1, Ser.2,
 1968, S.913-920;
 US-Z: Experimental Mechanics, Dez. 1970, S.537
 bis 538;
 US-Z: Experimental Mechanics, Nov. 1967, S.19A
 bis 30A;
 US-Z: Applied Optics, Vol.22, No.23, 1983, S.3543
 bis 3548;

(54) Rechnergestützte Ermittlung von Verformung und Bewegung aus Bildern mit projizierten Mustern

Für meßtechnische Zwecke wird ein Verfahren zur Ermittlung von Verformung und Bewegung aus Bildern mit projizierten Mustern vorgestellt. Das Verfahren beruht auf der Kombination folgender Merkmale:

- a) Erzeugung einer Verschiebung des projizierten Musters relativ zum Meßobjekt,
- b) Aufnahme und Abspeicherung von Bildern des Meßobjekts bei verschiedenen Legen des Musters und bei verschiedenen Verformungszuständen oder Ortszuständen des Objekts,
- c) punktweise Berechnung von Verformungs- und Bewegungskomponenten mittels der abgespeicherten Bilder.

DE 3600672 A1

Patentansprüche

1) Ein Verfahren zur rechnergestützten Ermittlung von Verformungs- und Bewegungskomponenten aus Bildern mit projizierten Mustern, **gekennzeichnet durch die Kombination folgender drei Merkmale:**

- a) Erzeugung einer Verschiebung des projizierten Musters relativ zum Objekt,
- b) musteraufgelöste Aufnahme und Abspeicherung von Bildern des Meßobjekts für verschiedene Lagen des Musters und für verschiedene Zustände des Meßobjekts,
- c) punktweise Berechnung von Verformungs- und Bewegungskomponenten oder daraus abgeleiteter Größen wie Dehnung oder Geschwindigkeit mittels der abgespeicherten Bildinhalte.

2) Ein Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Muster ein paralleles, gleichabständiges Streifenmuster ist.

3) Ein Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Muster durch Interferenzerscheinungen von Licht erzeugt wird.

4) Ein Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Muster durch einen oder mehrere Lichtstrahlen oder Laserstrahlen erzeugt wird.

5) Ein Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verschiebung des Musters durch Änderung eines optischen Weges erzeugt wird.

6) Ein Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahme oder das Einlesen der Bilder mittels elektronischer Kamera erfolgt.

7) Ein Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß gleichzeitig mehrere Muster projiziert werden oder daß gleichzeitig mehrere Kameras eingesetzt werden.

Beschreibung

Gattung

Das Verfahren betrifft die quantitative, rechnergestützte Ermittlung von Verformung und/oder Bewegung mittels Bilder des Meßobjekts. Das Meßprinzip beruht auf der Projektion von Mustern auf das Meßobjekt; aus der räumlichen Änderung der Muster kann auf Verformung und Bewegung des Meßobjekts zurückgerechnet werden.

Stand der Technik

Die Auswertung der Musteränderung erfolgt generell mit Hilfe der Moiré-Technik. Diese Technik, die sich hinsichtlich fotografischer Materialien und Ausführung einer großen Variationsbreite erfreut, kann immer auf folgendes Prinzip zurückgeführt werden:

Vom Objekt, auf das ein Muster projiziert ist, werden bei verschiedenem Verformungs- oder Ortszustand zwei fotografische Aufnahmen auf durchscheinendem Material erstellt. Die Überlagerung der beiden Aufnahmen führt zu Moiré-Linien, die das Bild des Objekts überziehen.

Die Auswertung der Moiré-Linien erfolgt im allgemeinen auf zwei Weisen:

a) visuell-manuell durch Abzählen der Linien, durch Nachzeichnen der Linien unter Benutzung optischer Hilfsmittel oder Grafiktablets. Eine Erhöhung der Auswertegenauigkeit für einzelne Punkte wird durch gegenseitiges Verschieben der Aufnahmen erreicht.

b) rechnergestützt durch Einlesen der digitalisierten Bilder in Datenspeicher und Auswertung nach dem Skelettverfahren mittels Linienerkennungsprogrammen.

Lit.: V. Perzborn und K.-H. Laermann, VDI-Berichte 552

9. GESA-Symposium 1985

T. Yatagai und M. Idesawa, 1982

Optics and Lasers in Engineering 3 1982 73—83

Kritik

Die visuell-manuellen Verfahren sind zeitaufwendig, subjektiv und fehleranfällig. Eine hohe Auswertegenauigkeit wird nur für wenige Bildstellen erreicht und erfordert speziell qualifiziertes Personal. Die Skelettverfahren sind rechenzeitaufwendig, empfindlich gegen Störungen im Streifenmuster, z. B. wenn Schatten oder Reflexe auftreten, und versagen bei bestimmten Arten von Bildern. Beide Verfahren werten nur Teile der im Muster enthaltenen Informationen aus und benötigen zur Auswertung die Umgebung eines Bildpunktes.

Aufgabe der Erfindung

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, den gesamten Informationsgehalt, den die Musteränderung beinhaltet, komplett oder in beliebig großen Ausschnitten mit hoher Genauigkeit, unempfindlich gegenüber Störungen, wie z. B. Schatten oder Reflexe, und frei von subjektiven Beurteilungskriterien zu ermitteln.

Lösung

Das mit einer Kamera aufgenommene Intensitätsbild $I(x, y)$ eines mit einem Muster beleuchteten Objekts setzt sich bekannterweise aus verschiedenen Anteilen zusammen, nämlich einer Hintergrundintensität $H(x, y)$, einer Kontrastintensität $K(x, y)$ und einem Musterbild $M(\varphi(x, y))$. Die Funktion M ist bestimmt durch die Art der Mustererzeugung; $\varphi(x, y)$ beschreibt die Form des Musters auf dem Objekt, und mit x und y sind die Koordinaten der Bildpunkte bezeichnet. Im Intensitätsbild sind die Größen H , K und φ folgendermaßen miteinander verknüpft:

$$I(x, y) = H(x, y) + K(x, y) \cdot M(\varphi(x, y)) \quad (1) \quad 10$$

Durch apparative Maßnahmen und Verfahren, wie sie in Anspruch 1 und 5 gekennzeichnet sind, läßt sich eine gezielte Verschiebung des Musters relativ zum Objekt erreichen; das Intensitätsbild I wird somit abhängig von einem bekannten Lageparameter δ :

$$I_\delta(x, y) = H(x, y) + K(x, y) \cdot M(\varphi(x, y), \delta) \quad (2) \quad 15$$

Durch die Wahl geeigneter Sätze von δ läßt sich Gleichung 2 zu einem Gleichungssystem erweitern, das eine exakte Auflösung nach den Unbekannten H , K und φ aus den bekannten Bildintensitäten $I_{\delta_1}, I_{\delta_2}, \dots$ gestattet.

Hierzu werden in der Praxis die Intensitäten I_{δ_i} für verschiedene Musterlagen aufgenommen und auf Datenspeicher abgelegt, gemäß Punkt 1b des Anspruchs. Die Berechnung der Formfunktion $\varphi(x, y)$ und/oder des Kontrastbildes $K(x, y)$ und/oder des Hintergrundbildes $H(x, y)$ erfolgt punktweise mittels der abgespeicherten Bildinhalte, gemäß Punkt 1c des Anspruchs.

In gleicher Weise kann für das verformte oder bewegte Objekt vorgefahren werden. Die Information über die Verformung oder Bewegung des Objekts liegt im Meßprinzip entsprechend in der Änderung der Formfunktion $\varphi(x, y)$. Mittels der beiden exakt ermittelten Formfunktionen, sowie mittels der Daten des optischen Aufbaus läßt sich für jeden Punkt die Verformung mit hoher Genauigkeit berechnen.

Die Berechnung der Verformung muß nicht notwendigerweise über die einzeln ermittelten Formfunktionen erfolgen, es besteht vielmehr eine große Mannigfaltigkeit hinsichtlich der verwendbaren Sätze von δ ; und somit eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten der Gleichungssysteme. Es gibt, wie im Ausführungsbeispiel demonstriert wird, die Möglichkeit, durch geschickte Wahl der Lageparameter δ , das Gleichungssystem so zu gestalten, daß es direkt nach der Differenz der Formfunktionen auflösbar ist.

Die Berechnung der exakten Lösungen läßt sich in geeigneten Rechnersystemen für das gesamte Bild mit geringem Zeit- und Programmaufwand bewerkstelligen. Wesentlich, und von den bisherigen Methoden sich unterscheidend, ist, daß die Berechnung an jedem einzelnen Bildpunkt exakt und unabhängig von der Umgebung dieses Punktes ist.

Ausgestaltung

Das Hinzufügen eines apparativen Parameters ist ein methodischer Vorgang, der eine automatisierte Auswertung zuläßt oder nach entsprechender Einweisung auch weniger qualifiziertem Personal die Auswertung ermöglicht.

Erzielbare Vorteile

Es wird eine vollständige Auswertung des gesamten Bildes mit hoher Genauigkeit und großer Zuverlässigkeit erreicht, die Auswertung ist frei von subjektiven Beurteilungskriterien. Die Daten sind in maschinell lesbarer Form zur Darstellung und Weiterverarbeitung verfügbar, so z. B. zur Darstellung der Verformung mittels 3D-Plots.

Ausführungsbeispiel

Als Ausführungsbeispiel wird die Ermittlung der z-Komponente einer Verformung gewählt; eine hierzu brauchbare Anordnung ist in Abb. 1 dargestellt. Ein Laserstrahl trifft auf ein leicht dejustiertes Zweistrahlinterferometer (2), durchläuft eine Aufweitungsoptik (4) und beleuchtet dann das Meßobjekt (5) unter einem Winkel mit einem Interferenzstreifenmuster. Die Streifenlage auf dem Objekt läßt sich durch kontrolliertes Bewegen eines Piezospiegels (3) einstellen. Mittels einer elektronischen Kamera (6) werden Bilder bei verschiedenen Streifenlagen und Verformungszuständen in ein elektronisches Bildverarbeitungssystem, bestehend aus Rechner, Datenspeicher und Monitor, eingelesen und abgespeichert.

Die Intensitätsverteilung, die von der Kamera erfaßt wird, läßt sich im beschriebenen Fall folgendermaßen darstellen:

$$I_{\delta_i}(x, y) = H(x, y) + K(x, y) \cdot \cos(\varphi(x, y) + \delta_i) \quad (3) \quad 65$$

Im vorliegenden Fall werden vier Bilder aufgenommen; das erste beim Verformungszustand A und bei der Streifenlage $\delta_1 = 0^\circ$, die anderen drei beim Zustand B und Streifenlagen von $\delta_2 = 0^\circ$, $\delta_3 = 120^\circ$ und $\delta_4 = 240^\circ$. Damit entsteht das folgende Gleichungssystem:

$$\begin{aligned}
 I_1(x, y) &= H(x, y) + K(x, y) \cdot \cos \varphi_A(x, y) \\
 I_2(x, y) &= H(x, y) + K(x, y) \cdot \cos \varphi_B(x, y) \\
 I_3(x, y) &= H(x, y) + K(x, y) \cdot \cos(\varphi_B(x, y) + 120^\circ) \\
 I_4(x, y) &= H(x, y) + K(x, y) \cdot \cos(\varphi_B(x, y) + 240^\circ)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Im ersten Rechenschritt werden die Beträge der Differenzbilder $|I_1 - I_2|$, $|I_1 - I_3|$ und $|I_1 - I_4|$ gebildet und zur Unterdrückung von Termen mit $(\varphi_A + \varphi_B)$ tiefpaßgefiltert.

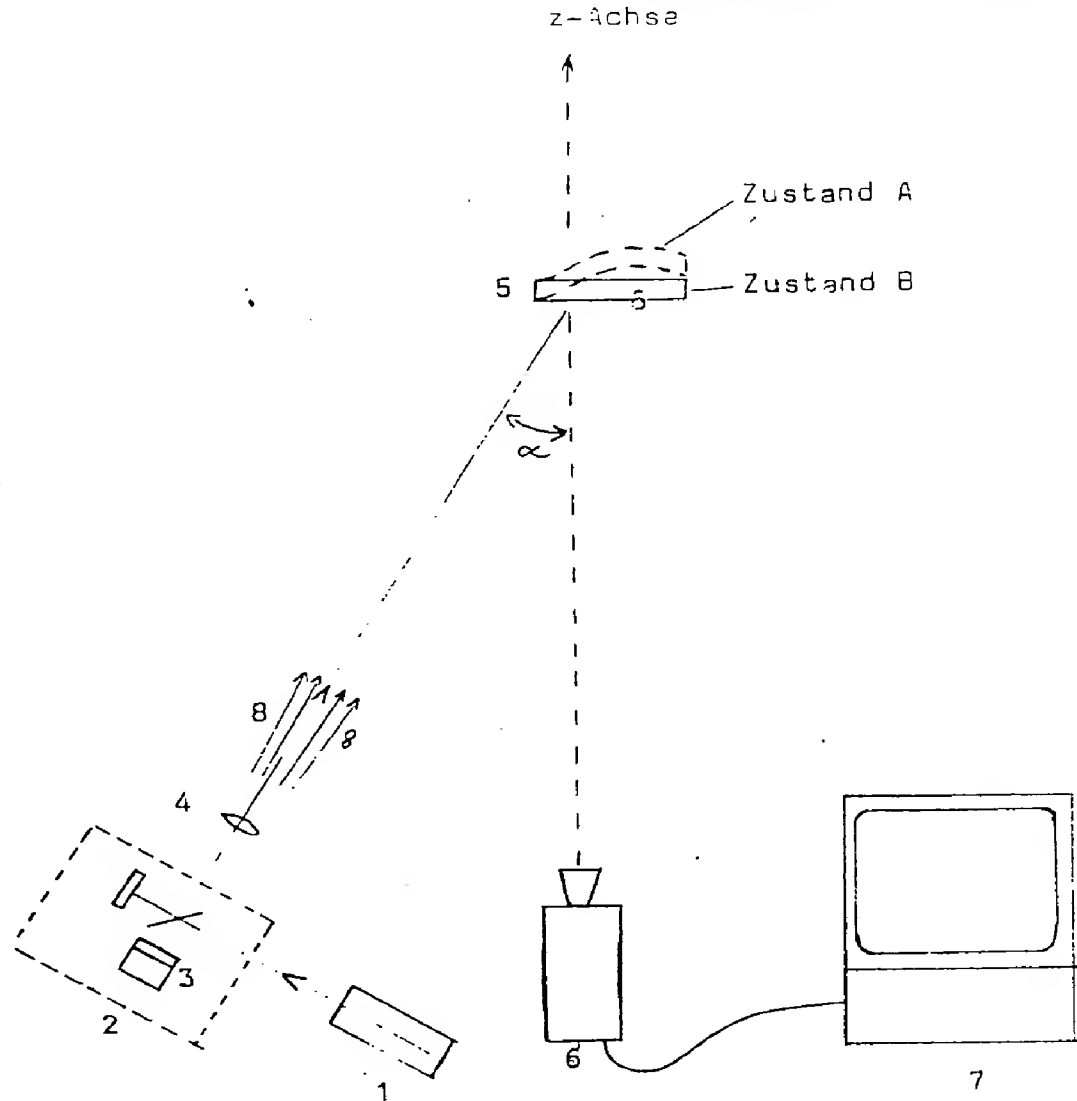
Im zweiten Rechenschritt wird die für die Ermittlung der z -Verformung relevante Größe $\varphi_A - \varphi_B$ nach folgender Gleichung punktweise berechnet:

$$\varphi_A - \varphi_B = 2 \arctan \sqrt{3} \frac{|I_1 - I_2| - |I_1 - I_3| - |I_1 - I_4|}{2|I_1 - I_2| - |I_1 - I_3| - |I_1 - I_4|}
 \tag{5}$$

Im dritten Schritt wird aus dem Bild $\varphi_A - \varphi_B$ mittels der Geometriedaten des optischen Aufbaus die z -Verformung v_z berechnet:

$$v_z(x, y) = (\varphi_A - \varphi_B) \cdot \frac{d}{\sin \alpha}
 \tag{6}$$

d ist dabei der Streifenabstand und α der Winkel zwischen Beleuchtungs- und Beobachtungsrichtung. Das Bild v kann ebenfalls auf Datenspeicher abgelegt werden und steht für eine Weiterverarbeitung oder Datenausgabe in digitaler Form zur Verfügung.



- 1 Laser
- 2 dejustiertes Interferometer
- 3 Piezospiegel
- 4 Aufweitungsoptik
- 5 Meßobjekt
- 6 elektronische Kamera
- 7 Bildverarbeitungssystem mit Rechner, Speicher und Monitor
- 8 Ausgestrahltes Streifenmuster

Abb. 1